

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Eksplorasi intensif dari berbagai alternatif dan sumber daya energi terbarukan saat ini sedang dilakukan di seluruh dunia. Listrik *pico hydro* menjadi pertimbangan terbaik karena dianggap sebagai pilihan energi terbarukan yang paling hemat biaya untuk menyediakan listrik untuk daerah pedesaan, dan untuk memungkinkan energi akan berasal dari tinggi jatuh (*head/H*) dan aliran sungai (*Q*) yang sangat rendah 1 m dan 1 l/s (A.A. Lehimer, dkk: 2012)

Kebutuhan energi di Dunia meningkat dari hari ke hari karena meningkat pesat populasi dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Namun dalam era sekarang ada terlalu banyak hambatan yang mengurangi konsumsi listrik untuk masyarakat umum, tingginya biaya bahan bakar, permintaan tinggi dan pasokan rendah bahan bakar. Bahan bakar seperti batu bara, minyak bumi, CNG, LPG, energi nuklir yang menipis dari hari ke hari dan juga merusak ekosistem kita. Biaya instalasi proyek pembangkit listrik tenaga air besar yang sangat tinggi dan tidak dapat diinstal di mana saja. Karena alasan tersebut, pembangkit listrik tenaga pico-hydro adalah solusi untuk sistem pembangkit dengan biaya rendah dan dapat pasang dimana saja (G. Yadav, dkk : 2014)

Pico hydro dapat menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan elektrifikasi pedesaan dan telah diterapkan hanya dalam beberapa kasus untuk aplikasi *head* sedang sampai *head* tinggi di Nepal. Manufaktur lokal dari pico turbin hidro telah terbukti berhasil di negara-negara berkembang lainnya dan mungkin telah beradaptasi dengan teknologi secara meluas. Sebuah *runner* turbin *propeller* dengan ketebalan konstan, melengkung, memutar, dan variabel panjang *chord* dirancang untuk memungkinkan membangkitkan 1 kW listrik dengan *head* 2 m dan 70 l/s. (Pradhumna, dkk: 2014)

Proses duplikasi bagian yang sudah ada, *sub assembly*, atau produk tanpa bantuan gambar, dokumentasi, atau model komputer dikenal sebagai *reverse*

engineering. *Reverse engineering* juga didefinisikan sebagai proses mendapatkan model CAD geometri dari titik 3D diakuisisi oleh *scanning*/digitalisasi produk yang ada (N. Singh : 2012)

Panchetti dkk (2010) mendefinisikan aplikasi dari *reverse engineering* dalam area industri sebagai berikut:

1. Disain dari komponen baru: pembuatan disain komponen baru dari komponen yang sudah ada.
2. Reproduksi komponen: pembuatan komponen karena sudah tidak diproduksi lagi.
3. Perbaikan dari komponen yang rusak: permukaan komponen yang rusak diukur dan rekonstruksi kembali menggunakan CAD dan dibandingkan dengan komponen yang sudah ada.
4. Pengembangan model yang lebih presisi.
5. Observasi dari data numeris: pemrosesan data dari model yang sudah ada didalam CAD kemudian membandingkan dengan model terdahulu

Metode Reverse Engineering mempercepat pengembangan produk dengan mengurangi kegiatan uji coba ukuran produk terutama masalah ukuran ergonomi. Pengembangan produk dapat dilakukan dengan merubah bentuk estetika dan ketersediaan komponen pendukung yang ada (B.W. Febriantoko : 2012)

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro (PLTPH)

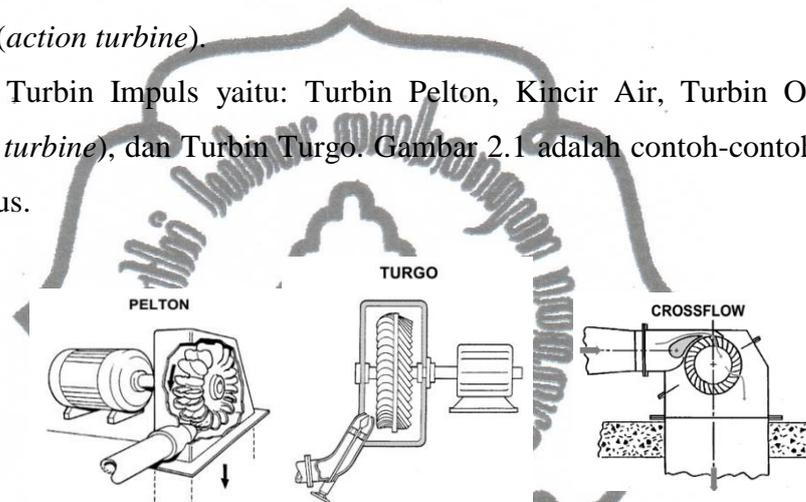
Pico hydro adalah listrik tenaga air dengan *ouput* listrik maksimal lima kilo Watt (5kW). Sistem listrik tenaga air jenis ini memiliki keuntungan pada biaya dan kesederhanaan dari pendekatan berbeda dalam desain, perencanaan dan pemasangan dibandingkan yang diaplikasikan pada *large hydro power*

Sistem pembangkit listrik Pico Hydro didasarkan pada konsep sederhana dari pembangkit listrik tenaga air. Perpindahan air akan memutar turbin yang menyebabkan pergerakan pada generator dan oleh karena itu energi listrik akan dihasilkan.

commit to user

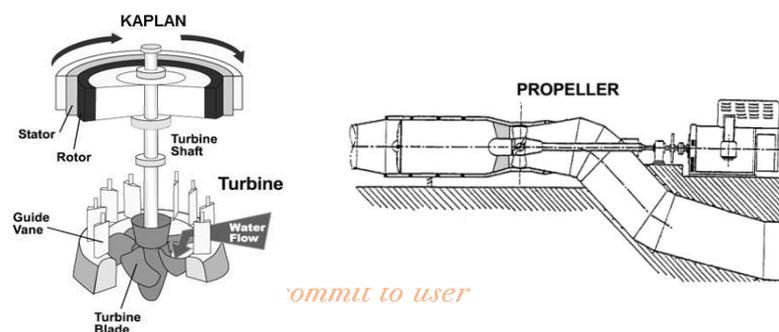
Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu Turbin Impuls dan Turbin Reaksi. Turbin Impuls adalah turbin dimana proses penurunan tekanan dari air hanya terjadi pada sudu pengarahnya saja dan pengisian air pada roda turbin dilakukan pada sebagian dari keliling roda turbin. Sehingga Turbin Impuls juga disebut turbin pengisian sebagian (*partial admission turbine*) atau disebut juga turbin aksi (*action turbine*).

Jenis Turbin Impuls yaitu: Turbin Pelton, Kincir Air, Turbin Ossberger (*cross flow turbine*), dan Turbin Turgo. Gambar 2.1 adalah contoh-contoh bentuk turbin implus.

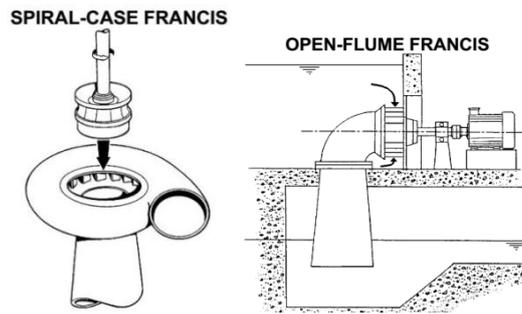


Gambar 2.1 Turbin Impuls

Turbin Reaksi adalah turbin dimana penurunan tekanan pada sudu-sudu pengarah maupun pada sudu-sudu jalannya. Pada Turbin Reaksi ini pemasukan/pengisian air terhadap roda turbin dilakukan pada sekeliling penuh dari roda turbin tersebut, sehingga turbin jenis ini juga disebut turbin pengisian penuh (*full admission turbine*). Jenis Turbin Reaksi seperti yang terlihat pada gambar 2.2 yaitu: Turbin Francis, Turbin Kaplan, dan Turbin Propeller.



ommit to user

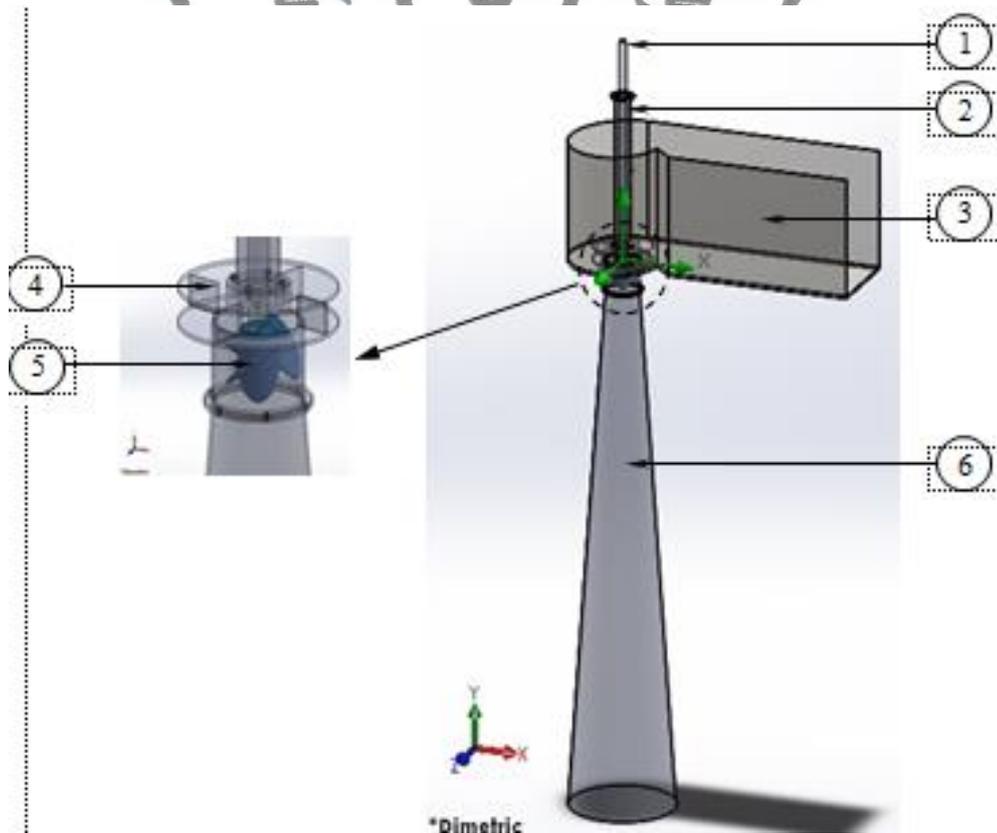


Gambar 2.2 Turbin Reaksi

2.2.2 Komponen Turbin dan Prinsip Kerja Turbin Air

1. Komponen Turbin

Komponen-komponen utama turbin air seperti yang tertera pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Komponen Turbin air

Keterangan :

1. Poros generator

Komponen ini terbuat dari baja *solid* yang berfungsi mentransmisikan daya dari poros turbin menuju generator.

2. *Housing*

Komponen ini terbuat dari pipa baja *hollow* yang berfungsi melindungi poros generator sekaligus sebagai dudukan generator.

3. *Spiral case*.

Bagian ini terbuat dari plat baja yang mengelilingi *runner blade*, semakin ke ujung semakin mengecil sehingga berbentuk rumah siput. Hal ini bertujuan agar air yang masuk kedalam turbin dapat terdistribusi merata dan menghindari kehilangan efisiensi

4. Sudu pengarah (*guide vane*)

Sudu pengatur yang terbuat dari baja tuang *stainless* yang pejal terdiri dari dua buah trunion dan sebuah sirip sudu berbentuk lonjong dan ekornya tirus. Disusun secara teratur berbentuk lingkaran.

5. Sudu gerak turbin (*runner*)

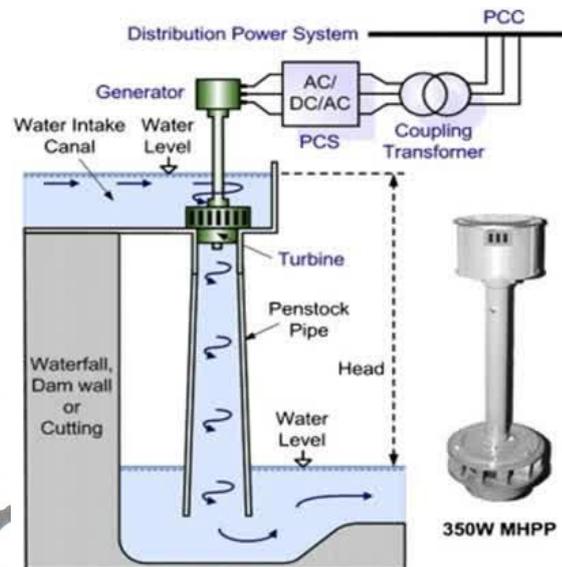
Sudu gerak terbuat dari baja tuang yang ditempa secara vertikal dan merupakan bagian turbin yang berputar. Sudu gerak dikenai gaya radial dan gaya aksial. Fungsi sudu gerak adalah mengubah energi potensial ke kinetik menjadi energi mekanik berupa putaran turbin

6. *Draft tube*

Pipa hisap atau *draft tube* dipasang pada sisi keluar *runner* berfungsi untuk mengalirkan air yang keluar dari *runner* ke saluran pembuangan (*tail race*). *Draft tube* dengan bentuk konis dengan penampang yang membesar ke arah sisi keluar (*divergent*), dengan bentuk ini akan diperoleh dua hal yang saling berkaitan, yaitu.

1. Kecepatan air pada sisi keluar lebih kecil dari pada kecepatan air pada sisi masuk.
2. Tekanan pada sisi keluar lebih besar daripada tekanan pada sisi masuk, sehingga seolah-olah aliran air terhisap dari masuk ke sisi keluar, oleh karena itu disebut pula pipa hisap (*draft tube*).

2. Prinsip Kerja Turbin Air



Gambar 2.4. Skema Pembangkit Listrik Skala Kecil

Penjelasan gambar 2.4 adalah energi potensial air menggerakkan poros turbin kemudian poros turbin menggerakkan poros generator, dalam generator listrik dibangkitkan kemudian dialirkan ke kontroler untuk mengontrol dan menstabilkan tegangan dan arus yang akan disimpan pada baterai, listrik keluaran dari generator masih berupa arus DC, arus listrik ini bisa langsung digunakan untuk peralatan yang memerlukan arus DC, untuk peralatan yang menggunakan arus AC, maka perlu adanya *converter* untuk merubah arus DC menjadi AC.

Penentuan *head* atau tinggi air jatuh pada turbin impuls dihitung dari permukaan air atas sampai ke tengah-tengah pancaran air. Sedangkan untuk turbin reaksi *head* dihitung dari tinggi permukaan air atas sampai tinggi permukaan air bawah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 (F.Dietzel:1980).

2.2.3 Kriteria Perancangan dan Pemilihan Jenis Turbin Air

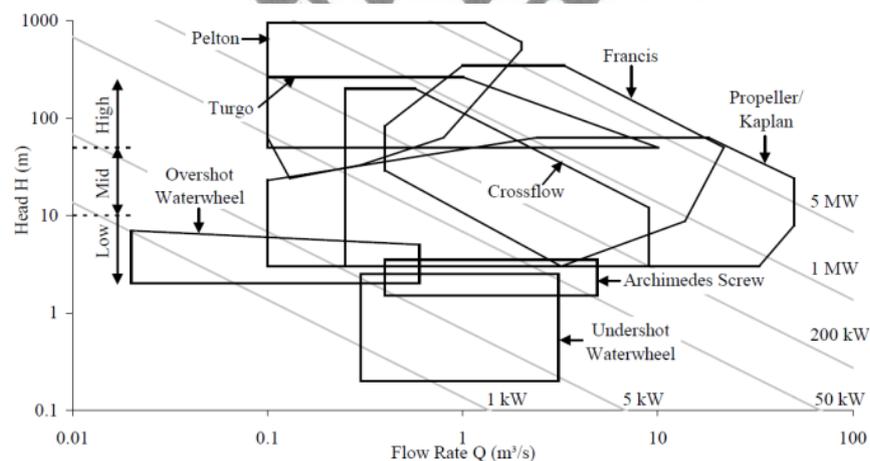
Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin untuk desain yang sangat spesifik. Tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, (Dixon, S. L, 1998) yaitu:

1. Tinggi jatuhnya air efektif (tinggi jatuh *net*) dan debit air yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang

mempengaruhi pemilihan jenis turbin. Sebagai salah satu contoh Turbin Pelton yang beroperasi pada tinggi jatuh yang tinggi sedangkan Turbin Propeller sangat efektif beroperasi pada tinggi jatuh yang rendah dengan jumlah debit air yang besar

2. Faktor daya yang diinginkan berkaitan dengan debit dan tinggi jatuh yang tersedia.
3. Faktor kecepatan putar turbin (n) yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh, untuk sistem transmisi *direct couple* antara generator dan turbin pada tinggi jatuh rendah, sebuah Turbin Reaksi (*propeller*) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara Turbin Pelton dan *crossflow* berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi.

Ketiga faktor diatas sering digunakan untuk menentukan (kecepatan spesifik turbin). Pemilihan turbin dapat dilakukan dengan melihat grafik karakteristik hubungan antara tinggi jatuh net (m) dan debit aliran (m^3/s) agar didapatkan jenis turbin yang cocok sesuai dengan kondisi pengoperasiannya (Penche & Minas, 1998).



Gambar 2.5. hubungan antara tinggi jatuh net dan debit aliran
(S.J. Williamson, 2011)

Selain menggunakan grafik pada gambar 2.5, Penche dan Minas 1998 telah mengklasifikasikan jenis turbin berdasarkan *head*nya sebagai berikut,

Tabel 2.1. *Range of Head* (Penche & Minas, 1998)

<i>Turbine Type</i>	Head range in meters
Kincir Air	0
Kaplan and propeller	$2 < H < 40$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1300$
Michell-Banki	$3 < H < 250$
Turgo	$50 < H < 250$

Kondisi alam yang dimodelkan dalam perhitungan dimensi *runner* turbin PLTAPH adalah debit aliran (Q) 25 l/s dan ketinggian jatuh air *head* (H) 2 meter. Berdasarkan tabel 2.1, maka dipilih turbin reaksi tipe *propeller* dengan sudu plat datar supaya memudahkan proses produksi. Turbin *propeller* sama dengan turbin Kaplan hanya saja pada turbin *propeller* kemiringan sudunya tetap atau tidak dapat dirubah (M. Nechleba, 1957).

Nilai *head* dan debit aliran dapat memprediksi daya yang dibangkitkan air untuk menggerakkan turbin air menggunakan persamaan 2.1 berikut ini:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad (\text{Watt}) \quad (2.1)$$

Keterangan:

P : Daya yang dibangkitkan air (Watt)

ρ : Massa jenis air = 1000 kg/m³

Q : Debit aliran (m³/s)

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

H : *head*/ tinggi jatuh air (m)

Kecepatan spesifik turbin juga menjadi dasar pemilihan jenis turbin karena sangat berpengaruh pada sistem transmisi mekanik yang akan digunakan. Kecepatan spesifik turbin dicari dengan menggunakan persamaan 2.2 berikut ini:

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}} \quad (\text{sumber: Fritz Dietzl, 1998}) \quad (2.2)$$

dimana,

n_s : kecepatan spesifik

n : kecepatan putar turbin (rpm)

Q : debit air (m^3/s)

H : tinggi air jatuh net (m)

Kecepatan spesifik setiap jenis turbin memiliki kisaran rentang tertentu berdasarkan pada data pengujian. Tabel 2.2 dibawah ini menunjukkan kisaran kecepatan spesifik beberapa jenis turbin air.

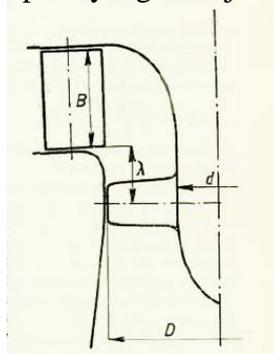
Tabel 2.2 Kisaran Kecepatan Spesifik Turbin Air (N_s)

(sumber: Fritz Dietzl, 1998)

Jenis Turbin		N_s (metrik)
1. Turbin Impuls	a. Satu jet (turbin Pelton)	4-30
	b. Banyak jet (turbin Doble)	30-70
2. Turbin Reaksi	a. Francis	
	N_s rendah	50-125
	N_s normal	125-200
	N_s tinggi	200-350
	N_s Express	350-500
	b. Propeller	
Sudu tetap (turbin Nagler)	400-800	
Sudu dapat diatur (turbin Kaplan)	500-1000	

Bila disebutkan, berarti N_s adalah jumlah putaran roda turbin yang bekerja pada tinggi air jatuh $H = 1$ m dan kapasitas air $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ (dengan jumlah putaran yang tertentu n/menit) (Dita, 2014). Pembangkit Listrik Tenaga Air pada umumnya generator dihubungkan langsung dengan turbin, namun ada beberapa aplikasi PLTA ini dihubungkan dengan sistem transmisi sebelum terhubung dengan generator.

Perancangan *runner* turbin *propeller* terdapat banyak variabel yang harus dikalkulasi tetapi yang paling penting adalah menentukan parameter awal dan komponen-komponen kecepatan. Parameter awal meliputi diameter luar *runner* (D), diameter hub (d_h), jarak antar sudu (s), jumlah sudu (Z) dan jarak antara *runner* dengan sudu pengarah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sketsa parameter turbin kaplan (Nechleba :1957)

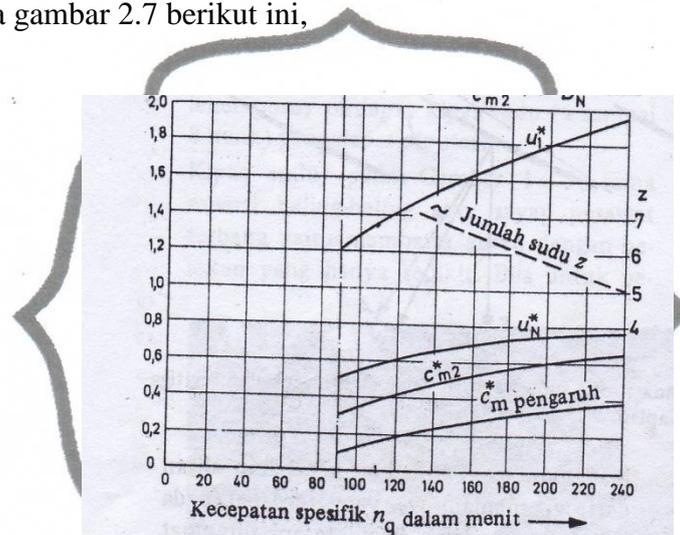
Berikut ini adalah urutan perhitungan karakteristik *runner* turbin *propeller* (M. Nechleba: 1957),

a. Diameter terluar *runner* (D)

$$C_x = c_m \sqrt{2gh} \quad (2.3)$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4Q}{\pi C_x \left(1 - \left(\frac{d_h}{d_t}\right)^2\right)}} \quad (2.4)$$

Nilai c_m didapatkan dengan memasukkan nilai kecepatan spesifik (Ns) pada gambar 2.7 berikut ini,



Gambar 2.7. Grafik penentuan parameter awal (Fritz Dietzl, 1998)

b. Jarak *runner* dengan sudu pengarah (λ)

Jarak antara *runner* dengan sudu pengarah dapat ditentukan dengan persamaan 2.5 berikut ini,

$$\lambda = 0,25 Dt \quad (2.5)$$

Keterangan:

Dt : Diameter terluar *runner* (m)

λ : jarak antara *runner* dengan sudu pengarah (m)

c. Jarak antar sudu (s)

Jarak antar sudu *runner* dapat ditentukan dengan persamaan 2.6 berikut ini,

$$s = \frac{\pi D \left(\frac{d_h}{d_t}\right)}{Z} \quad (2.6)$$

Keterangan:

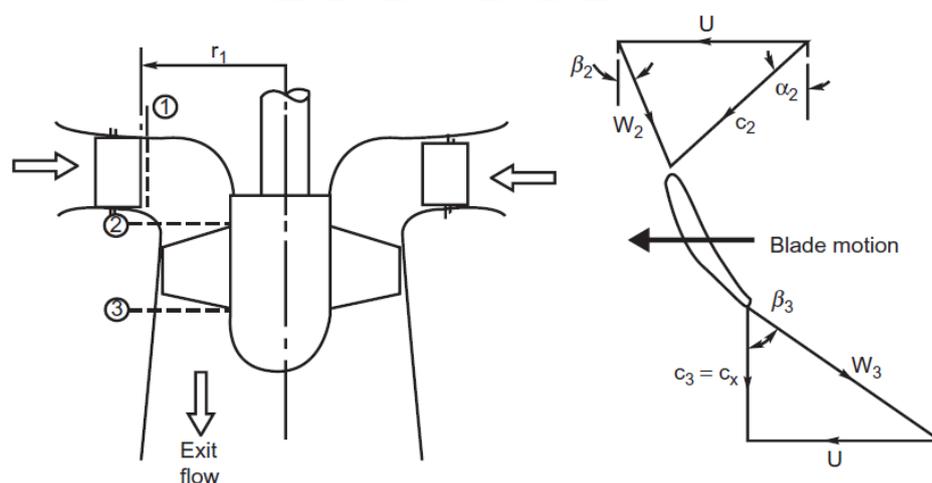
S : Jarak antar sudu *runner* (m)

dh/dt : *hub to tip ratio* (m)

Z : Jumlah sudu *runner*

D : Diameter terluar sudu *runner* (m)

Komponen-komponen kecepatan dari *runner* turbin ditentukan oleh segitiga kecepatan yang terbentuk pada sisi *inlet* dan *outlet* dari setiap seksi radial yang dianalisa. Simbol c_2 merupakan kecepatan aliran air masuk *runner* yang berasal dari sudu pengarah, sudut α_2 adalah besarnya sudut yang tercipta akibat tumbukan air dengan permukaan sudu pengarah yang menyebabkan adanya proyeksi kecepatan absolut terhadap U (Cu_2), kecepatan aliran c_2 yang menghantam sudu *runner* menyebabkan sudu *runner* bergerak dengan kecepatan U , W merupakan kecepatan relatif aliran air pada sudu *runner* yang membentuk sudut masuk β_2 dan sudut keluar β_3 pada bagian *hub* dan *tip*. Rata-rata sudut masuk dan sudut keluar sudu nantinya digunakan untuk menentukan kemiringan sudu *runner*. Besarnya kecepatan aksial C_x pada seluruh bagian sudu dianggap sama. Kecepatan aliran air keluar sudu *runner c_3 sama dengan kecepatan aksial yang terjadi pada seluruh bagian sudu *runner* hal ini di sebabkan nilai $Cu_3 = 0$. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.8 sebagai acuan awal akan tetapi bentuk dari segitiga kecepatan tidak selalu seperti ini.*



Gambar 2.8 sketsa turbin kaplan dan diagram segitiga kecepatan sisi masuk dan keluar *runner* (Dixon, 1998)

- a. Kecepatan *runner* disetiap seksi radial (U_i)

$$U_{tip} = \frac{2\pi nR}{60} \quad \text{commit to user} \quad (2.7)$$

Keterangan :

U_{tip} : kecepatan *runner* pada bagian terluar (tip) sudu (m/s)

n : kecepatan putar turbin (rpm)

R : jari-jari tip (m)

- b. Selisih proyeksi kecepatan absolut terhadap U (ΔC_u)

$$\Delta C_u = \frac{\eta h g h}{U_i} \quad (2.8)$$

Keterangan:

ηh : efisiensi hidrolik *runner* (%)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

h : Tinggi Jatuh/*head* (m)

Perancangan *runner* juga harus memperhitungkan gaya-gaya yang bekerja diantaranya adalah gaya aksial, tangensial dan sentrifugal, dari gaya-gaya tersebut dapat memprediksi juga tegangan tarik, geser dan bending.

- a. Gaya aksial pada setiap sudu

$$P_a = \frac{\pi}{4Z} (Dt^2 - Dh^2) \gamma H \quad (2.9)$$

Keterangan:

P_a : Gaya aksial (N)

γ : *specific gravity* air ($\frac{kg}{m^2 s^2}$)

- b. Gaya tangensial

$$P_t = \frac{9,55 HQ \eta}{n R_t Z} \quad (2.10)$$

Keterangan:

P_t : Gaya Tangensial (N)

R_t : jari-jari rata-rata (m)

- c. Gaya sentrifugal

$$P_s = \frac{m}{g} R_t \cdot \omega^2 \quad (2.11)$$

Keterangan:

P_s : Gaya Sentrifugal (N)

ω : kecepatan sudut (rad/s)

m : massa sudu (kg)

2.2.4 Metode Reverse Engineering

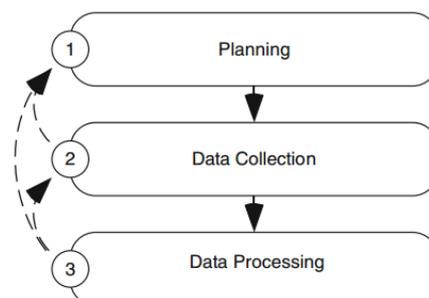
Konsep *reverse engineering* di industri merupakan suatu langkah meniru produk yang sudah ada (dari produsen lain) sebagai dasar untuk merancang produk baru yang sejenis, dengan merubah disain, memperkecil kelemahan dan meningkatkan keunggulan produk dari para pendahulunya (Raja V.,:2008). Kegiatan yang dilakukan meliputi 5 tahap, yaitu, (a). Kegiatan pembongkaran produk, (b). Kegiatan penggabungan komponen, (c). Kegiatan perbandingan (d). Proses disain produk baru serta (e). Pembuatan prototipe produk.

Menurut Bagci (2009), *Reverse Engineering* didefinisikan sebagai evaluasi yang sistematis dari produk yang sudah ada dengan tujuan melakukan duplikasi, termasuk di dalamnya desain dari komponen baru, duplikat yang sudah ada, pembuatan ulang komponen yang rusak, dan peningkatan kepresisian produk.

Beberapa alasan untuk melakukan *reverse engineering* (Shane.K, dkk: 2011).

1. Membandingkan produk melalui *benchmarking*
2. Persiapan untuk meniru produk.
3. Mendapatkan data teknis yang tidak ada.
4. Memperoleh data teknis yang pemasok asli tidak lagi mau atau mampu menyediakan.
5. Mempersingkat waktu masuk pasar.
6. Meningkatkan data yang ada.
7. Menyelidiki pelanggaran hukum paten.
8. Membantu akademisi atau lingkungan belajar lainnya.

Berikut adalah alur dalam proses *reverse engineering* (Shane.K.,dkk, 2011):



Gambar 2.9 Tahapan dalam pelaksanaan *reverse engineering*